

補助事業番号 28-153
補助事業名 平成28年度 溶融亜鉛めっき高強度複相鋼の材料設計に関する研究
補助事業
補助事業者名 名古屋大学 准教授・高田 尚記

1 研究の概要

本研究は溶融亜鉛めっき高強度複相鋼の材料設計に不可欠な知見として、鋼の高強度化に不可欠なケイ素 (Si) とマンガン (Mn) に着目し、以下の研究項目について調べた。

- (1) 鋼材/めっき界面に形成する Fe-Zn 化合物層形成に及ぼす Si 添加の影響の解明
- (2) 鋼材/めっき界面に形成する Fe-Zn 化合物層形成に及ぼす Mn 添加の影響の解明
- (3) Fe-Mn-Si 3 元系を基にした溶融亜鉛めっき高強度複相鋼板の試作

2 研究の目的と背景

我が国の鉄鋼技術は世界トップレベルであり、その技術の粋を集めた主力製品のひとつに亜鉛 (Zn) めっき表面処理鋼材がある。安価な鋼材に優れた機能性を付与する表面処理技術は、新興国の追随を許さない。現在、国内粗鋼生産量 (約 11,000 万トン) の 11% 以上の鋼材が Zn めっき処理によって付加価値を向上させており、今後、従来の軟鋼から高強度鋼への適用拡大は必然であり、更なる増産が予測される。

申請者は、鋼の相変態 (平衡論、速度論) の観点から、鉄鋼メーカーの現有設備である連続溶融 Zn めっきライン (CGL) の熱処理工程を利用した高強度二相鋼板 (フェライト (α) + マルテンサイト (α') 組織) の組織制御を目指し、Zn めっき/鋼板の界面反応に及ぼす鋼板組織 (フェライト相及びオーステナイト相 (γ)) の影響を明らかにした。

Zn めっき鋼板の高強度化の実現は、鋼板/めっき層の密着強度の向上を要求する。鋼板 (Fe) とめっき (Zn) の界面に形成する Fe-Zn 金属間化合物層 (図1参照) は非常に脆い性質を有するため、めっき密着性向上には Fe-Zn 金属間化合物層の制御が不可欠である。鋼の組織を複相化 (フェライト + マルテンサイト二相組織 等) にするにはマンガン (Mn) やケイ素 (Si) の合金元素添加が不可欠であるが、Fe-Zn 金属間化合物層の形成及び成長に及ぼす鋼板の合金元素の影響は明らかではない。本知見は、溶融 Zn めっき鋼板の高強度化 (鋼の組織制御) と高密着性化 (Fe-Zn 金属間化合物層の制御) の達成に不可欠である。しかし、本研究対象は鉄鋼業界の企業利益に直結する技術であるため、企業内の研究成果がほぼ非公開であり、共有できる基礎的な研究結果が極めて少ない。

本研究の目的は、溶融 Zn めっき高強度複相鋼の材料設計を目指し、鋼の高強度化に不可欠なケイ素 (Si) とマンガン (Mn) に着目し、鋼板/Zn めっき (溶融 Zn) の界面反応とそれに伴う金属間化合物相の形成に及ぼす両合金元素の影響を解明することである。

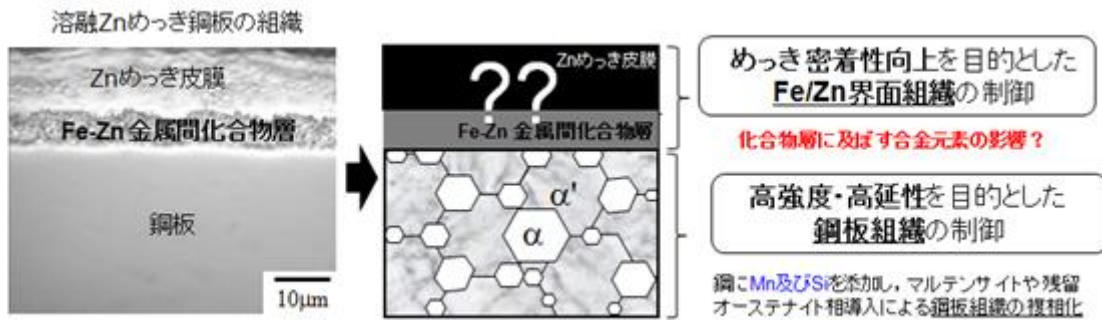
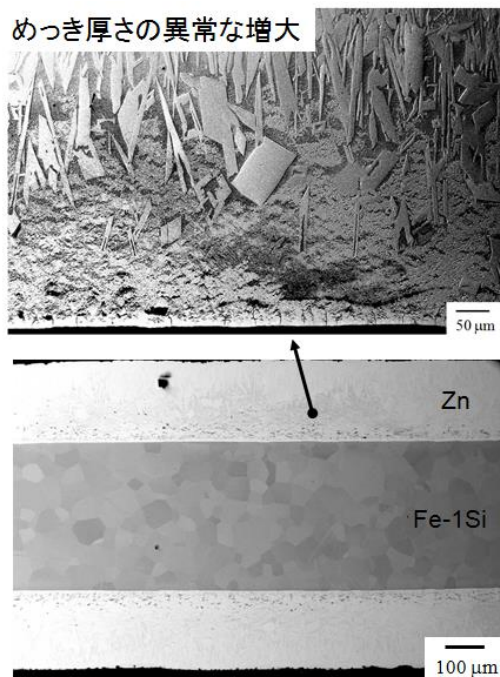


図1 溶融 Zn めっき高強度鋼板作製への問題点

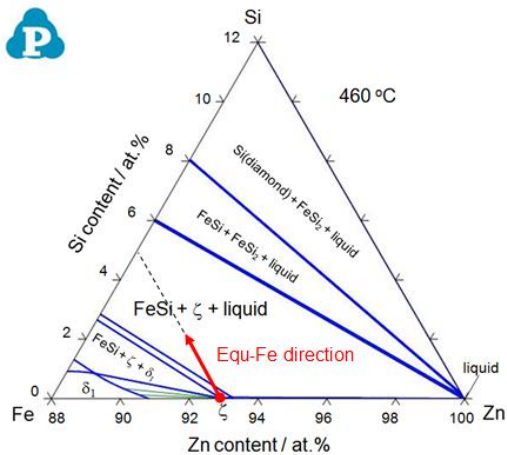
3 研究内容

<http://www.numse.nagoya-u.ac.jp/P6/kobashi/program1.html>

(1) 鋼材／めっき界面に形成する Fe-Zn 化合物層形成に及ぼす Si 添加の影響の解明
 本研究で溶製した試料は、純 Fe 及びこれに 0.2 wt%, 1.0 wt% の Si を添加した合金である。これらの合金を、 $N_2-15\%H_2$ 雰囲気（露点 $-45^\circ C$ ）にて $875^\circ C/60\text{ s}$ 加熱・保持後、空冷し $460^\circ C$ の純 Zn 浴に 2~3600 s 浸漬させ、その後急冷した。本事業経費で導入した自動研磨機を用いて試料の組織観察に必要な研磨を行った。組織観察には、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡を用いた。めっき／鋼板界面近傍の元素分析を行った。以上の実験から、鋼板に 0.2wt% 以上 Si を添加すると、鋼板／Zn めっき界面で著しい反応が起こり、その結果、Zn めっき厚さが異常に増大することがわかった。これは、鋼板の固溶 Si が $\delta-FeZn_{13}$ 相から FeSi 相と液相への分解を促進するためであることを明らかにした（図 2 参照）。



めっき厚さの異常な増大



ζ→ FeSi + liquid の分解に起因する著しい Fe/Zn 固液界面反応の促進

図 2 溶融亜鉛めっき処理時における Fe/Zn 固液界面反応に及ぼす Si 添加の影響

(2) 鋼材／めっき界面に形成する Fe-Zn 化合物層形成に及ぼす Mn 添加の影響の解明

本研究で溶製した試料（純 Fe 及びこれに 2wt% の Mn を添加した合金）に、460°C の Zn 浴に 2～3600 s 浸漬させ、その後急冷した。本事業経費で導入した自動研磨機を用いて試料の組織観察に必要な研磨を行った。組織観察および組成分析には、走査型電子顕微鏡を用いた。本事業経費で導入した計算状態図ソフトウェア Pandat 及び Zn 系熱力学データベースを用いて、めっき／鋼板界面に形成する化合物の予測を行った。その結果、鋼板に 2wt% までの Mn 添加は、鋼板／Zn めっき界面の反応にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。

(3) Fe-Mn-Si3 元系を基にした溶融亜鉛めっき高強度複相鋼板の試作

本研究で設計した高強度鋼板を模擬した合金（Fe-1Si-1Mn, Fe-1Si-2Mn, Fe-1Si-3Mn (wt. %) 合金）に、460°C の Zn 浴に 2～3600 s 浸漬させ、その後急冷した。その試料概観観察の結果、鋼板の 2wt% まで Mn 添加に依らず、Si 元素の添加は鋼板／Zn めっき界面反応を促進することがわかった（図3参照）。したがって、Fe-Mn-Si3 元系を基礎とした高強度鋼板の溶融亜鉛めっきにおいて、Si 元素の添加量を制御する必要があることがわかった。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究成果である溶融亜鉛めっき高強度複相鋼に関する設計指針は学会・論文を通して受益者である鉄鋼会社の技術者などに発信されているため、その基礎知見を生かし高機能な溶融亜鉛めっき皮膜創製に大きく貢献する。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで鉄鋼メーカーの現有設備である連続溶融 Zn めっきライン（CGL）の熱処理工程を利用した高強度複相鋼板の組織制御を目指し、Zn めっき／鋼板の界面反応に及ぼす鋼板組織（フェライト相及びオーステナイト相）の影響を明らかにしてきた。本研究成果によりフェライト相に分配する Si がめっき処理時の固液界面反応に大きな影響を及ぼすことが明らかになったため、溶融亜鉛めっき高強度複相鋼板の実現にはフェライト相の分布制御の必要性があることがわかった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

知材（0件）

発表論文（2報）

1. Naoki Takata, Kunihisa Hayano, Asuka Suzuki, Makoto Kobashi, Solid Fe/Liquid Zn Interfacial Reaction of Hot-Dip Galvanized Fe-Si Alloy Sheets, Proceedings of GALVATEC2017 (11th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet) pp. 177-181, (2017).
2. Naoki Takata, Kunihisa Hayano, Asuka Suzuki, Makoto Kobashi, Enhanced Interfacial Reaction of Fe-Si Alloy Sheets Hot-Dipped in Zn melt at 460°C, ISIJ

International Vol. 58 (2018) in press.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

名古屋大学 小橋・高田研究室ホームページ:

<http://www.numse.nagoya-u.ac.jp/P6/kobashi/program1.html>

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 名古屋大学 工学研究科 小橋・高田 (コバシ・タカタ) 研究室

住 所: 〒464-8603

名古屋市千種区不老町1 工学部5号館605号室

申 請 者: 准教授 高田 尚記 (タカタ ナオキ)

担 当 部 署: 工学研究科 (コウガクケンキュウカ)

E - m a i l : takata.naoki@material.nagoya-u.ac.jp

U R L : <http://www.numse.nagoya-u.ac.jp/P6/kobashi/>